

寒地水田におけるイネわら連用の影響について

南 松 雄† 前 田 要†

ON THE EFFECT OF THE SUCCESSIVE APPLICATION OF RICE STRAW FOR PADDY FIELD IN HOKKAIDO

Matsuo MINAMI & Kaname MAEDA

寒地水田にイネわらを施用する場合、乾田タイプの黄褐色土壌では10a当たり400kg
伏施用が生育、収量面よりみて最も安定的である。また、土壌的にはイネわら施用によっ
てN肥沃度の向上および耐水性粒団生成にともなう土壌の膨軟化の傾向がみられる反面、
土壌の酸性化にともなって塩基の溶脱現象がみられ、黄褐色土壌ではその程度が著しい。

I 緒 言

水稲の生産は地力に依存する度合いがきわめて高く、従来、その維持、増進のための手段として堆肥の施用が奨励されてきた。

しかしながら、近年、農村における労働力の不足と農作業の機械化にともなう、農家の動力用家畜数が減少し、水田に対する堆肥の施用量が年々減少の一途をたどっている。一方、近年、水稲の省力機械化栽培にともなう、収穫残さ物としてのイネわらを、堆肥代替物として、直接は場で処理する気運が生じている。しかし、堆肥に比べて未分解な粗大有機物であるイネわら施用の意義も寒地と暖地では、その分解過程および水稲の生育時節の相違などから効果および処理法などに著しい差異が生じてくるものと考えられる。

本試験は昭和37年道農試連絡試験として化学部が企画立案し、上川農試ではその一環として黄褐色土壌におけるイネわらの施用法を施用時期、量の面から検討し、それが水稲の生産ならびに土壌の理化学性に及ぼす影響について、昭和37年から44年までの8年間にわたり試験したのでその結果を報告する。

なお、この研究を取りまとめるにあたり、強グライ土壌

における成績の引用ならびに貴重な分析土壌を提出して下さった中央農試稲作部栽培第1科渡辺科長はじめ関係諸氏に深甚の謝意を表する。

また、元上川農試土壌肥料科長小野切弘一博士ならびに歴代この研究にたずさわった関係諸氏（盛時雄、山口正栄）にも厚くお礼申し上げる。

II 試験方法

1) 土 壌 条 件

① 供試ほ場の土壌条件

黄褐色土壌；上川農試ほ場、本土壌は火山灰を母材とする沖積土であり、その土壌類型は、施肥改善調査要領によれば、黄褐色土壌・壤土マンガン型に属し、透水良好（減水深；30mm/day）な乾田タイプの土壌である。土壌断面形態についてみると、第1層（0～12cm）は、腐植および糸根状斑に富む灰黒色を呈し、ち密度18、粘着・可塑性中庸で、現地容積重は77.8gであって、きわめて軽しょうな土壌である。第2層（12～19cm）は鋤床層を形成しており、ち密度24ときわめて堅いことが特徴的である。第3層（19～53cm）は腐植もほとんどみられなく、土性も粗くなり、黄褐色を呈し、鮮明なベンチジン反応がみられる。

強グライ土壌；中央農試稲作部ほ場、本土壌は河成沖積土によって形成されており、施肥改善調査要領によれば、その土壌型は強グライ土壌型に

† 上川農業試験場

属し、透水不良(減水深; 2.1 mm/day)で典型的な
湿田タイプの土壌である。土層断面形態は、第1
層(0~13 cm)、第2層(13~40 cm)は腐植および
膜状斑鉄に富む緑灰色を呈しており、粘着性が強
く、40 cm から湧水がみられる。第3層(40 cm 以
下)は腐植に富む緑灰色で、ヨシなどの植物遺体
の混入がみられる。

両土壌の理化学性は第1表に示した。

② 試験区の構成

両水田における試験区の構成は第2表に示すと
おりであり、イネわらの切断長は、10~15 cm、

鋤込み時期は秋(10月下旬~11月上旬)、春(4月中
旬~下旬)の2段階、施用量は10 a 当り 400 kg,
600 kg (強グライ土壌では 560 kg) の2段階、鋤込
み方法はロータリー耕による。肥料はすべて単肥
(N; 硫酸, P_2O_5 ; 過石, K_2O ; 塩加または硫加)を使用
し、水稻栽培法は慣行法に準じた。また、跡地土壌
の生産力の試験においては、5,000 分の1 a ワグネ
ルポットを用い、無窒素、無磷酸、無加里、3 要素
の4処理を設け、共通施肥量として N, P_2O_5 , K_2O
をポット当り 0.5 g 施用した。移植は10月13日
(40日苗)、ポット当り2株、1株2本植とし、温室

第1表 試験地土壌の理化学性

項目 土壌の種類	層位	粒 径 組 成 (%)				土 性	pH (H ₂ O)	TC (%)	TN (%)	C/N
		粗 砂	細 砂	シルト	粘 土					
黄 褐 色 土 壌	1	9.4	41.2	26.1	23.3	CL	5.62	5.54	0.37	14.97
	2	6.9	43.8	26.6	22.8	CL	5.76	5.49	0.37	14.84
強グライ土壌	1	0.5	18.6	54.2	26.7	SiC	5.42	4.47	0.32	13.97
	2	0.2	10.3	41.0	48.5	HC	5.63	5.29	0.35	15.11

項目 土壌の種類	層位	NH ₄ -N生成量 (mg)		乾 土 効 果	塩基置 換容量 (me)	置換性塩基 (me)			石 灰 飽和度 (%)	吸 収 係 数	
		湿 土	乾 土			CaO	MgO	K ₂ O		N	P ₂ O ₅
黄 褐 色 土 壌	1	2.24	10.91	8.67	24.7	4.86	0.89	0.17	19.7	537	1,820
	2	ND*	ND	ND	25.9	6.67	1.09	0.20	25.8	564	1,742
強グライ土壌	1	3.34	10.96	7.62	22.6	8.38	2.69	0.29	37.0	164	1,031
	2	ND	ND	ND	23.3	8.62	3.44	0.31	37.0	363	1,042

ND*.....No determined.

第2表 試験区の構成(ほ場試験)

土 壌 の 種 類	試 験 区 名	施 肥 量 (kg/a)			イネわら (kg/a)	堆 肥 (kg/a)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
黄褐色土壌	無 施 用 区	0.8	0.7	0.6	—	—
	堆 肥 区	0.8	0.7	0.6	—	80
	イネわら	秋鋤込 400 kg 区	0.8	0.7	40	—
		秋鋤込 600 kg 区	0.8	0.7	60	—
		春鋤込 400 kg 区	0.8	0.7	40	—
		春鋤込 600 kg 区	0.8	0.7	60	—
強グライ土壌	無 施 用 区	0.6	0.7	0.6	—	—
	堆 肥 区	0.6	0.7	0.6	—	112
	イネわら	秋鋤込 560 kg 区	0.6	0.7	56	—
		春鋤込 560 kg 区	0.6	0.7	56	—

で栽培し、調査は12月20日に行なった。

2) 実験方法

① $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成能の測定法；サンプリングした湿潤土の $\text{NH}_4\text{-N}$ を直ちに 10 % KCl で抽出して、常法により定量し、また、別に湿潤土 100 g を 100 ml 容ビーカーに採取し、脱塩水 25 ml を加え、土塊を良くねりつぶしたのち通気穴のある葉包紙でふたをし、 30°C で 4 週間 incubation 後常法によって $\text{NH}_4\text{-N}$ を定量し、後者の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量より前者の $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量を差引いた値をもって「 $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成能」とした。

② 酸化還元電位；ほ場で採取した湿潤土をポリ袋中で良くねりつぶしたのち、200 ml 容ビーカーに移し、空気との接触をさけるため土表面を 1 cm ぐらい脱塩水で満たし、白金電極挿入 10 分後に酸化還元電位計の数値を読みとり、同時に測定した pH および温度によって Eh_5 に換算した。単位は mv で表示した。

③ 2 価鉄の存在形態；本村法¹⁰⁾に準じて行なった。すなわち、空気の混入をさけて採取した湿潤土をポリ袋中で充分にねりつぶしたのち、その 5 g をあらかじめ脱塩水 50 ml と酸化防止のための流動パラフィンが入っている 50 ml 容遠沈管に採取し、ゴム栓をして 5 分間振盪後、遠心分離し、浸出液より水溶性 2 価鉄を定量した。つぎに、 N-KCl , 0.2 % AlCl_3 , N-NaOAc , 0.2 N-HCl 浸出液にて同様な操作を繰り返し、浸出液中の 2 価鉄を $\alpha\text{-}\alpha'$ ジピリジル法⁹⁾にて定量した。なお、 H_2O で浸出される Fe^{++} は水溶性 2 価鉄、 N-KCl で浸出される Fe^{++} は置換性 2 価鉄、0.2 % AlCl_3 および N-NaOAc で浸出される Fe^{++} は活性 2 価鉄として表示したが、水溶性 2 価鉄はほとんど検出されなかったので本成績には記さなかった。

④ 腐植の分画定量法；弘法・大羽法¹¹⁾に準じた。すなわち、0.5 mm 篩別風乾細土の炭素含量約 200 mg 相当量を 100 ml 容コニカルビーカーに秤取し、0.5 % NaOH を 60 ml 加えて、沸とう水中で時々振盪しながら正確に 30 分浸漬し、室温にて放置冷却後、遠心分離 (7,000 rpm, 20min.) して上澄液を腐植定量に供した。

なお、0.1 N-KMnO_4 1 ml を炭素に換算する場合、

土壌抽出液については HOCK の 0.57 の係数を、 RF の係数は熊田らの 1,000 をそれぞれ採用した。また J logK は $\text{logK 400} - \text{logK 600}$ をもって表示した。

⑤ 有機態窒素の分画定量法； STEWART 法¹⁶⁾に準じて行なった。すなわち、2.0mm 篩別の風乾細土 2.5g を 50ml 容遠沈管に秤取し、 N-KCl 12.5 ml 加えて遠心分離し、無機態窒素を除去する。この操作を 2 ~ 3 回繰返す。ついで、遠沈管中の土壌残さに 12 N-HCl 15 ml を加え、冷却用のガラス管を付けたゴム栓でふたをして、 95°C の湯盪上で 24 時間加水分解する。室温にて放冷後濾過し、濾紙上の残さを 0.1 N-HCl で洗滌し、一定容 (50 ml) にして、その抽出液より窒素を定量した。なお、抽出液中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 定量にはエチルアルコールとブロムクレゾールグリーン・メチルレッド混合指示薬の入っている 4 % H_3BO_3 を用いた⁹⁾。

⑥ 耐水性粒団の測定法；水田土壌の耐水性粒団の測定法については、川口・喜田ら²⁾の報告があるが、本実験では未風乾土（水分およそ 15~20 %）を 1 cm の篩で篩別して、乾土に換算しておおよそ 50 g 相当量を秤取し、団粒分析器にて 1 時間水中振盪篩別後篩上の粒団を乾燥し、各粒団の重量より分布割合を求めた。

⑦ 土壌の化学成分分析；置換容量、置換性塩基、乾土効果、温度上昇効果などは常法に準じ、 C , N については CN コーグを用いた。

⑧ 作物体中の無機成分分析；全窒素および全炭素についてはすべて CN コーグを用い、ほかの無機成分は硫酸法により湿式分解後、 SiO_2 は重量法により、 P_2O_5 は比色法、 CaO , MgO , K_2O , Fe_2O_3 , MnO については原子吸光分析法によった。

III 試験成績

1) イネわら連用と収量性

イネわらを、昭和 38 年から 44 年までの 8 か年連用したときの、玄米収量に及ぼす影響について検討した結果²¹⁾¹²⁾²²⁾は第 3 表（その 1 およびその 2）に示すとおりである。

まず、8 か年の平均収量についてみると、黄褐色土壌では、イネわら施用時期としては秋施用が

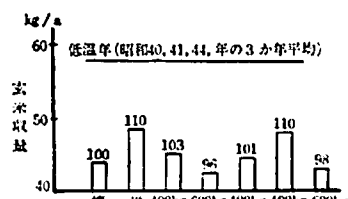
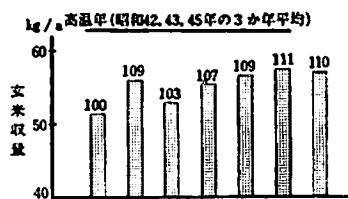
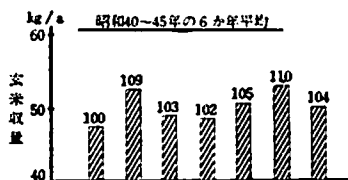
第3表 土壌の種類とイネわら施用効果

その1 黄褐色土壌, 強グライ土壌について

(8か年の平均値)

土壌の 種 類	試 験 区 名	総 重 (kg/a)	わら重 (kg/a)	もみ重 (kg/a)	もみ/わら	玄 米		変 係 異* 数 (%)		
						収 量 (kg/a)	比 (%)			
黄褐色 土 壌	無 施 用 区	102.6	41.6	61.0	1.47	48.0	100	10.88		
	堆 肥 区	113.0	46.0	67.0	1.46	52.2	109	12.15		
	イネ	秋鋤込	400 kg区	112.0	45.5	66.5	1.46	51.5	107	16.32
			600 kg区	106.1	40.3	65.8	1.63	51.4	107	18.73
		春鋤込	400 kg区	105.3	43.1	62.2	1.44	49.0	102	10.64
			600 kg区	103.2	40.4	62.8	1.55	48.7	101	17.76
強グラ イ土壤	無 施 用 区	100.7	46.6	54.1	1.16	47.1	100	18.56		
	堆 肥 区	106.2	48.7	57.5	1.18	48.1	102	15.24		
	イネ	秋鋤込・560 kg区	105.9	47.5	58.4	1.23	46.5	99	9.59	
			春鋤込・560 kg区	99.4	45.8	53.6	1.17	45.7	97	16.83

* 玄米収量についての数値

その2 黄褐色土壌における高温, 低温年の
玄米収量の比較

(注) 数字は標準区に対する収量指数

と, 多量(10a 当たり 600 kg) 施用の場合には高温年に比べ低温年における減収率が著しく, 不安定性を内包している様子がうかがわれる。

また, 強グライ土壌についてみると²⁾²²⁾, 10a 当り 560 kg の施用範囲では, いずれの施用時期においてもやや減収の傾向を示しており, 収量面に対するイネわらの施用効果はあまり期待できないものと思われる。なお, 強グライ土壌ではイネわら施用とともに窒素増施を併用した場合に増収していることから, イネわら施用によって土壌窒素の固定が惹起されるものと推定される。

2) 稲体の無機成分含有率および吸収量

黄褐色土壌における稲体の無機成分について検討した結果は, 第4表および第5表に示したとおりで, イネわら施用によってN含有率および吸収量が高まる傾向にあり, とくに, N吸収量においては著しく増加し, その程度も春施用に比べ秋施用において顕著である。また, ほかの無機成分についてみると, イネわら施用によって SiO_2 および K_2O 含有率は明らかに高まるが, P_2O_5 , MgO および MnO 含有率は逆に低下しており, とくに, 水稻根活性の指標といわれている Mn/Fe 比の低下が著しく, その程度はイネわら施用量の増加にともない, かつ秋施用に比し春施用において著しい。

春施用よりも明らかにまさっており, かつ, 無施用に比べて7%ほど上回っており, 施用量としては10a 当り 400 kg 施用の優位性がややうかがわれる。また, イネわら春施用も無施用に比べると1~3%の増収率を示しているが, 内容的にみる

第4表 稲体の無機成分の含有率

項 目 試験区名		成熟期における成分含有率 (%) (昭和 43 年)												出穂期における茎葉部の Fe, Mn 含有率 (ppm) (昭和 45 年)			
		N		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO		SiO ₂		Fe	Mn	Mn/Fe	
		わら	穂	わら	穂	わら	穂	わら	穂	わら	穂	わら	穂				
無 施 用 区	堆 肥 区	0.59	1.20	0.30	0.70	2.65	0.50	0.35	0.02	0.36	0.21	9.39	3.53	275	643	2.3	
		0.65	1.23	0.29	0.71	2.78	0.49	0.35	0.02	0.34	0.19	9.85	3.97	284	575	2.0	
イネわら	秋鋤込	400 kg 区	0.60	1.24	0.28	0.65	3.17	0.52	0.36	0.03	0.32	0.18	9.67	4.19	221	432	1.9
		600 kg 区	0.56	1.18	0.24	0.65	2.99	0.48	0.38	0.02	0.28	0.18	10.54	4.30	204	406	1.9
	春鋤込	400 kg 区	0.49	1.27	0.25	0.64	2.94	0.42	0.31	0.02	0.29	0.20	10.84	4.94	204	386	1.9
		600 kg 区	0.51	1.23	0.26	0.68	2.93	0.48	0.35	0.02	0.29	0.18	9.88	4.13	242	372	1.5

第5表 稲体Nの吸収量
(昭和42年~45年の4年平均値)

試 験 区 名	N			
	吸 收 量 (g/m ²)	比 (%)		
無 施 用 区	8.69	100		
堆 肥 区	10.83	124		
イネわら	{秋鋤込	{400 kg区	11.85	136
		{600 kg区	11.00	126
	{春鋤込	{400 kg区	10.20	117
		{600 kg区	10.95	126

3) 湛水期間中における土壌養分の動向

湛水期間中における土壌養分の動向を黄褐色土壌について検討した結果は第6表、第7表および第1図~第4図のとおりである。

まず、土壌中NH₄-Nの動向についてみると、イネわら施用量の増加にともないNH₄-N量は高濃度で経過する傾向がみられる。

さらに、土壌のNH₄-N生成能についてみると、

湛水直後は無施用より一時的に低い値を示すが、それ以降は急激に増加の傾向をたどり、7月中旬以降では、無施用に比べおよそ3倍以上の高い値を示し、明らかに有機態Nの無機化の現象がみられる。

可給態P₂O₅、2価鉄生成量もまた、イネわら施用による土壌の還元発達にともなって増加し、その程度は春・多量施用において顕著である。

なお、土壌還元化が最も進行している7月下旬に、本村法により2価鉄の存在形態を検討した結果、イネわら施用によって2価鉄合計量はもちろんのこと、置換性および活性2価鉄が著しく増加しており、イネわら施用によって明らかに還元物質の生成が助長されるものと思われる。しかしながら、中干し操作によりこれらの数値が顕著に減少することから、イネわら施用に中干し処理を併用すれば、還元物質の障害性を排除できることを示唆している。

一方、各生育時期における土壌中の2価鉄含量

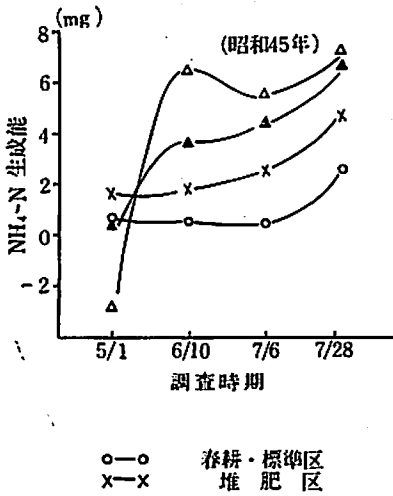
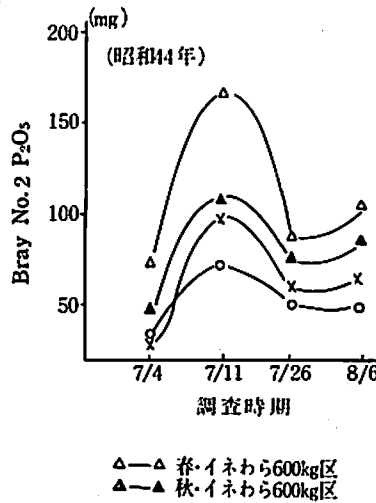
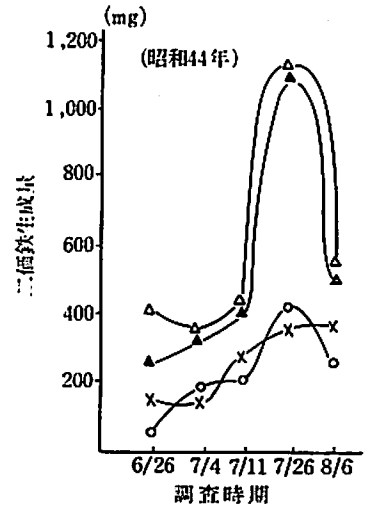
第6表 湛水期間中における土壌中NH₄-N溶出量および生成能の推移(昭和45年)

項目 試験区名	測定時期	10% KCl 浸出 NH ₄ -N...④ (mg)				Incubation 後の NH ₄ -N 生成量...⑥ (mg)				NH ₄ -N 生成能...⑧-④ (mg)			
		5/1	6/10	7/6	7/28	5/1	6/10	7/6	7/28	5/1	6/10	7/6	7/28
無施用区		5.28	5.65	2.08	0.61	6.01	6.35	2.77	2.32	0.73	0.70	0.69	2.71
堆肥区		4.87	4.22	1.66	0.98	6.65	6.18	4.24	5.73	1.78	1.96	2.58	4.75
イネわら	秋鋤込 400kg区	5.33	5.22	2.89	1.25	6.04	7.32	5.67	7.00	0.66	2.11	2.78	5.75
	秋鋤込 600kg区	6.00	4.95	2.15	1.30	6.54	8.62	6.45	8.09	0.54	3.67	4.30	6.79
	春鋤込 400kg区	5.36	4.77	2.41	1.23	5.73	8.72	5.68	5.77	0.37	3.95	3.27	4.54
	春鋤込 600kg区	8.00	7.47	1.67	1.00	6.04	13.91	7.25	8.27	-2.96	6.44	5.58	7.27

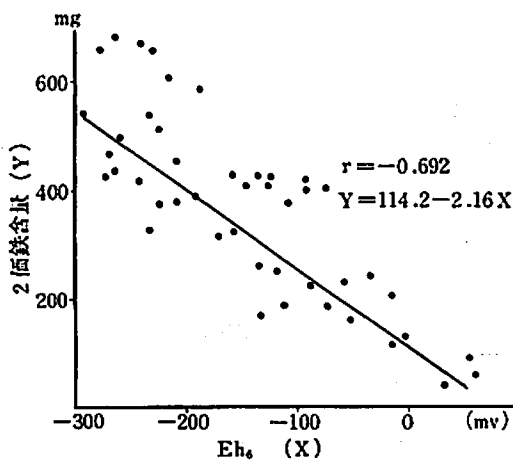
第7表 2 価鉄の存在形態

(昭和45年7月28日)

区 名	項 目	置換性 2 価鉄	活性 2 価鉄		不活性 2 価鉄	計	2 価鉄の構成割合 (%)		
		N-KCl	0.2 % AlCl ₃	N-NaOAc	0.2N-HCl		置換性	活 性	不活性
標 準 区		3.1 ^{mg}	13.4 ^{mg}	6.0 ^{mg}	60.4 ^{mg}	82.9 ^{mg}	3.7	23.4	72.9
堆 肥 区		56.0	48.1	15.5	68.6	188.2	29.8	33.8	36.4
イネわら	秋鋤込・600kg区	74.2	77.0	36.7	83.8	271.7	27.3	41.8	30.9
	春鋤込 対照区	71.7	90.6	28.5	75.3	266.1	26.9	44.8	28.3
	600 kg 中干し区	3.3	6.2	4.5	56.2	70.2	4.7	15.2	80.1

第1図 NH₄-N 生成能の推移第2図 Bray No. 2 P₂O₅ 量の推移

第3図 2 価鉄生成量の推移

第4図 2 価鉄生成量と Eh₅ の相関 (昭和44年)

と Eh₅ の関係を一括してプロット (第4図) すると、両者の間に高い負の関係 ($r = -0.692^{***}$) が認められ、いずれの時期においても2価鉄の生成量

と Eh₅ との間に密接な関係のあることがわかる。

4) 跡地土壌の理化学性

① 化学性

イネわら連用跡地土壌の化学性を黄褐色および強グライ両土壌について調査した結果は第8表に示した。

両土壌とも、イネわら連用によって pH、置換性塩基含量 (とくに置換性石灰) および石灰飽和度の低下がみられ、その程度は春多量施用において顕著である。また、イネわら連用による土壌中全窒素および全炭素含量の増加は両土壌ともほとんど認められず、全炭素含量はむしろ減少の傾向にある。

一方、incubation による NH₄-N 生成量および乾土効果は、両土壌ともイネわら施用により著しく高まっており、その程度は強グライ土壌の方が黄褐色土壌よりも大きく、また、イネわら施用時

第8表 跡地土壌の化学性

(昭和44年)

土壌の 種 類	試 験 区 名	pH (H ₂ O)	TC (%)	TN (%)	NH ₄ -N 生成量*			乾土 効果	地温土 昇効果	塩基置 換容量 (me)	置換性塩基 (me)			石 灰 飽和度 (%)	
					30°C		20°C				CaO	MgO	K ₂ O		
					頭土	乾土	乾土								
黄褐色 土 壤	無 施 用 区**	5.62	5.54	0.37	2.46	10.91	7.48	8.45	3.43	24.7	4.86	0.89	0.17	19.7	
	堆 肥 区	5.56	4.91	0.35	3.06	12.06	7.92	9.00	4.14	24.1	5.55	0.88	0.20	23.1	
	イネわら 秋 鋤 込	400kg区	5.35	4.95	0.33	3.41	12.61	8.79	9.20	3.82	22.2	3.96	0.85	0.43	17.5
		600kg区	5.31	5.63	0.39	3.87	17.50	9.91	13.63	7.59	21.8	3.49	0.74	0.28	16.0
強グライ イ土壤	無 施 用 区**	5.42	4.47	0.32	3.34	16.96	7.05	13.62	9.91	22.6	8.38	2.69	0.29	37.0	
	堆 肥 区	5.43	5.04	0.34	5.53	19.66	7.84	14.13	11.82	23.9	6.13	2.49	0.30	25.6	
	イネわら 秋 鋤 込	400kg区	5.31	4.49	0.32	5.75	21.48	7.74	15.73	13.74	21.4	6.51	2.29	0.29	30.4
		600kg区	5.09	4.24	0.36	6.43	22.53	9.66	16.10	12.87	23.9	7.82	2.82	0.37	32.7

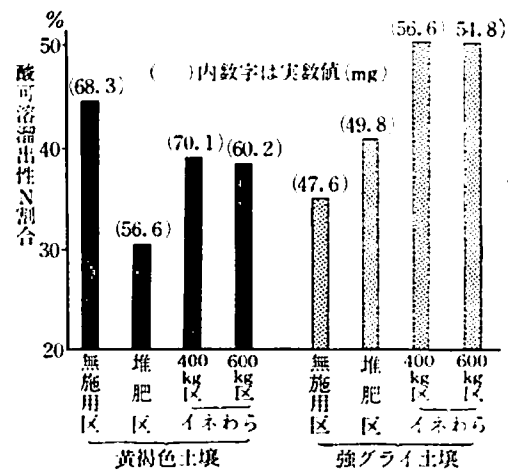
* 恒温器内 (30°C) で4週間 incubation 後生成せる NH₄-N 量 (mg)

** いずれも春耕・標準区

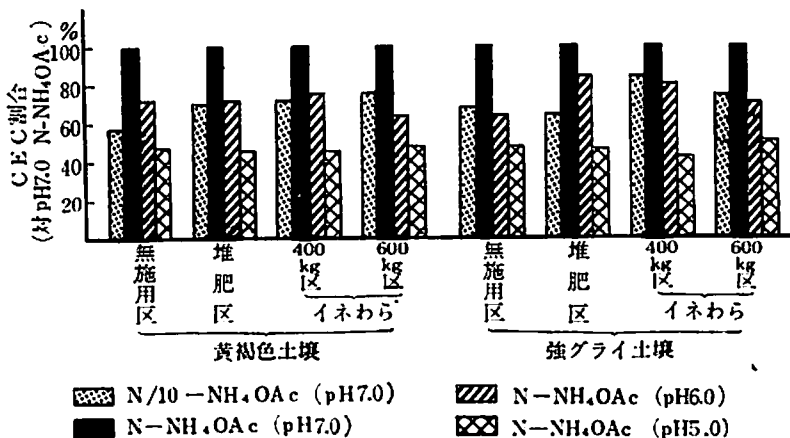
期との関係では秋施用に比べ春施用において顕著である。

つぎに、土壌有機態Nの画分についてみると(第5図)、黄褐色土壌ではイネわら施用により、酸可溶全窒素中に占める溜出性窒素割合が低下するが、強グライ土壌では逆に高まる傾向がみられる。したがって、イネわらなどの粗大有機物施用によってもたらされる土壌窒素の形態も、土壌の種類、とくに透水性、粘土含量および粘土鉱物組成などによって著しく異なるものと思われる。

一方、土壌の塩基置換容量の内容についてみると、両土壌とも NH₄OAc の濃度および pH の変化に対する CEC の変動が堆肥およびイネわら施用



第5図 土壌有機態Nの分画 (昭和45年)

第6図 NH₄OAc の濃度および pH が CEC に及ぼす影響 (昭和44年)

により小さくなることがわかれ、土壌緩衝能が堆肥およびイネわら施用によって増大されたものと解される。

さらに、土壌を過酸化水素で処理して腐植を除去し、CEC中に占める腐植の寄与割合を検討した結果、黄褐色土壌ではイネわらおよび堆肥施用によってその割合が著しく増加するのに対し、強グライ土壌では逆に減少しており、前述の土壌窒素の質的差異とあわせて考えると、土壌母材（と

くに粘土鉱物）の種類により有機物の施用効果も異なることを暗示しており、興味あることがらと思われる。

第10表は弘法・大羽法により土壌腐植の形態分画について示したもので、それによると両土壌ともイネわらおよび堆肥施用によりアルカリ可溶腐植の抽出割合が増加する傾向が認められ、またPQ（全抽出腐植中に占める腐植酸の割合）はイネわらおよび堆肥施用により黄褐色土壌では低下し、強グライ土壌では逆に増加の傾向がみられる。つぎ

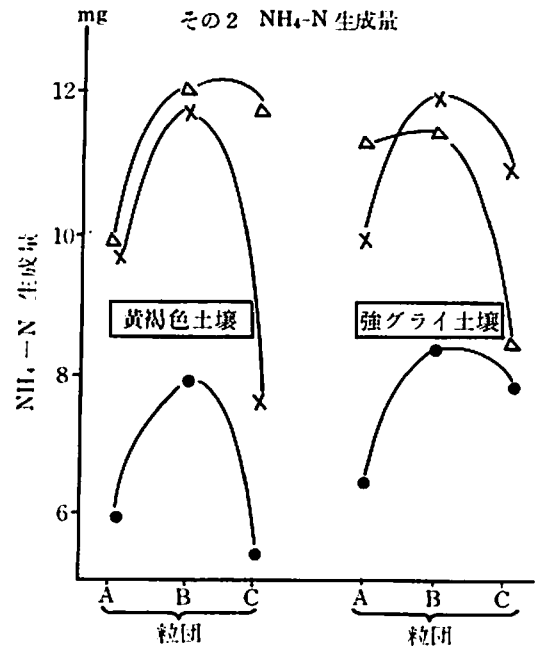
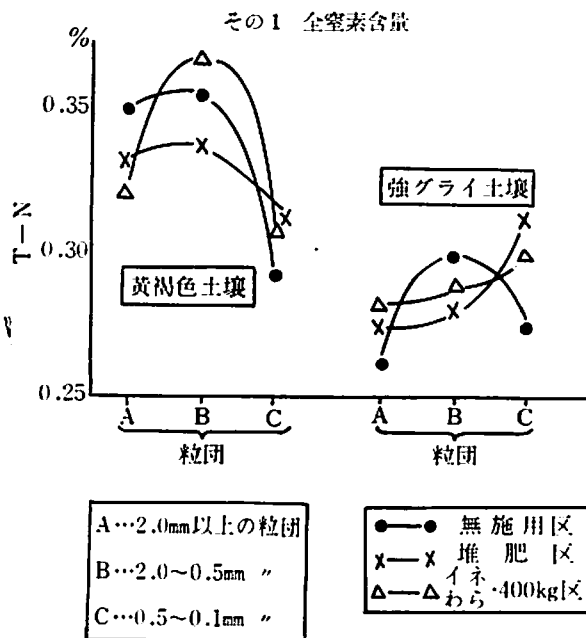
第9表 CECに及ぼす腐植の寄与率（昭和44年）

土壌の種類	試験区名	塩基置換容量 (me)		CECに対する腐植の寄与割合 (%)
		(A)原土	(B)H ₂ O ₂ 処理後	
黄褐色土壌	無施用区	24.7	17.4	29.3
	堆肥区	24.1	13.5	44.0
	イネわら 400kg区	22.7	10.5	53.6
	イネわら 600kg区	21.8	12.6	42.3
強グライ土壌	無施用区	22.6	13.9	38.6
	堆肥区	23.9	13.8	42.4
	イネわら 400kg区	21.4	14.9	30.7
	イネわら 600kg区	23.9	15.4	35.5

$$* \frac{A-B}{A} \times 100$$

第10表 土壌腐植の特質（昭和44年）

土壌の種類	試験区名	TC (%)	0.5% NaOH可溶部			
			腐植抽出割合 (%)	PQ	RF	ΔlogK
黄褐色土壌	無施用区	5.54	62.1	80.9	196	0.568
	堆肥区	4.91	72.4	78.4	156	0.578
	イネわら 400kg区	4.95	76.0	79.8	208	0.569
	イネわら 600kg区	5.63	69.3	76.1	201	0.560
強グライ土壌	無施用区	4.47	58.9	64.3	31	0.808
	堆肥区	5.04	59.0	67.0	29	0.828
	イネわら 400kg区	4.49	58.3	68.6	33	0.800
	イネわら 600kg区	4.24	63.7	67.4	36	0.806



第7図 粒径別粒団群のN肥沃性

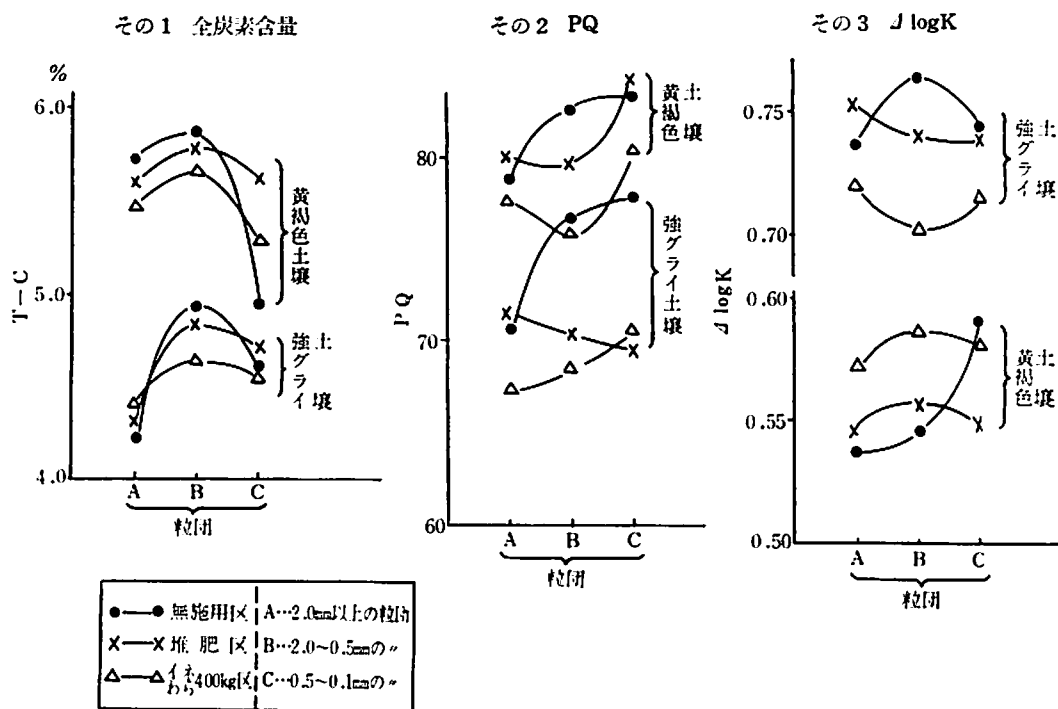
(昭和45年)

に、腐植酸の腐植化度を表わす RF (相対色度) および $\Delta \log K$ (色調係数) についてみると、RF は両土壌とも堆肥施用により低下し、 $\Delta \log K$ は逆に増加しており腐植酸の腐植化度の低下する様子がうかがえるが、イネわら連用土壌については一定の傾向はみられない。

つぎに、イネわら連用による土壌の化学性の変化をミクロにとらえる目的で、跡地土壌を物理的分画後その化学性について検討した。すなわち、水中篩別法によって得られた耐水性粒団を A (2.0 mm 以上), B (2.0~0.5 mm), C (0.1~0.5 mm) の 3 群に分け、粒団別の窒素肥沃性および腐植の形態について検討した結果、第 7 図 (その 1 およびその 2) から明らかなように、両土壌とも、堆肥およびイネ

わら施用によって各粒団群の $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成能が無施用に比べ著しく高まり、粒団間では 2.0~0.5 mm の粒団群において窒素肥沃度がもっとも高い傾向にある。また、黄褐色土壌における全窒素含量は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成能と同じ傾向にあって、2.0~0.5 mm の粒団群において高いことが認められ、この現象については、川口ら⁸⁾もほぼ同様な報告をしており、興味あることがらと思われる。

一方、各粒団群の特性を腐植の形態面よりみると (第 8 図その 1~その 3) 両土壌とも全炭素含量は 2.0~0.5 mm の粒団群において高まるが、イネわら施用、無施用間の明瞭な差異は認め難い。また、腐植化度の示標となる $\Delta \log K$ ならびに PQ については一定の傾向は認められない。



第 8 図 粒径別粒団群の腐植の特性

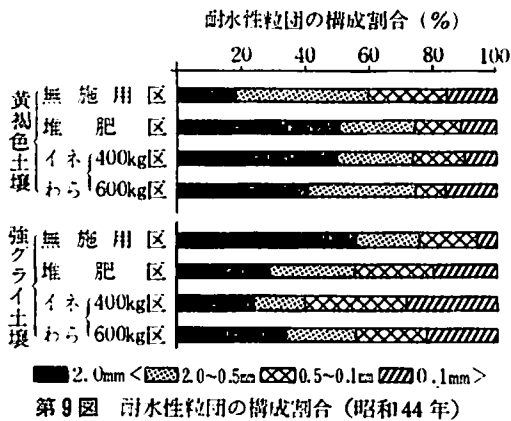
(昭和 45 年)

② 物 理 性

跡地土壌の耐水性粒団について検討した結果は第 9 図に示したとおりである。

黄褐色土壌では、堆肥およびイネわら施用により 2.0 mm 以上の粒団割合が著しく増加しているが、強グレイ土壌ではむしろ減少して、各粒団群の分布割合が近似しており、土塊の均一化の傾向

がみられた。これらの現象は、比較的粘土含量が少なく、凝集力の弱い土壌では、有機物施用により土壌粒子間の凝集力を増加させる面が、また、粘着力が強く、土塊の生じやすい土壌ではその緩和されることが推定され、粗大有機物施用による土壌の物理性改善の方向性が、土壌の種類によって異なることを暗示しているものと思われる。



また、第 11 表は跡地土壌の三相割合（黄褐色土壌）を示したものであるが、イネわら施用によって容積比重の低下と土壌孔隙率（とくに容気度）の増加が認められ、その程度はイネわらの施用量の増加にともなって著しい。一方、堆肥施用はイネわら施用に比べてその変動が小さいことから、土壌物理性改良の面での影響に限れば、イネわらなどの粗大有機物の方が堆肥に比べてより効果的な要素を内包しているものと思われる。

第 11 表 土壌三相組成 (昭和 45 年)

試 験 区 名	三相分布割合 (%)			孔隙 率 (%)	容気 度 (%)	容比重 (乾土)		
	気相	液相	固相					
無 施 用 区	13.3	35.5	51.2	48.8	26.8	0.95		
堆 肥 区	13.8	35.7	50.5	49.5	27.8	0.93		
イネわら	秋鋤込	400kg区	17.0	36.7	46.3	53.7	31.6	0.88
		600kg区	23.8	36.7	39.5	60.5	39.1	0.80
	春鋤込	400kg区	17.8	36.6	45.6	54.4	32.6	0.89
		600kg区	27.8	36.7	35.5	64.5	43.1	0.74

③ 跡地土壌の生産力

第 12 表は黄褐色土壌におけるイネわら連用跡地土壌を用い、その生産力について検討した結果である。

イネわら施用土壌は 3 要素区、窒素および加里欠除区において、無施用土壌に比べ生育量のおう盛なことが乾物重などからうかがわれ、しかも、窒素欠除区において、その傾向が顕著なことからイネわら施用により窒素肥沃度の増大することが明らかである。

第 12 表 イネわら連用跡地土壌の生産力 (ポット試験) (昭和 44 年)

項目	3 F			- N		
	草丈 (cm)	茎数 (本)	乾物重 (g/pot)	草丈 (cm)	茎数 (本)	乾物重 (g/pot)
跡地土壌						
無 施 用 区	55.0	5.5	3.0	54.6	4.5	2.0
堆 肥 区	58.9	7.0	3.2	51.1	3.5	2.2
イネわら 400kg区	70.8	10.0	4.3	61.3	4.0	3.1
秋鋤込 600kg区	70.8	12.5	5.8	52.8	6.0	4.5

項目	- P			- K		
	草丈 (cm)	茎数 (本)	乾物重 (g/pot)	草丈 (cm)	茎数 (本)	乾物重 (g/pot)
跡地土壌						
無 施 用 区	64.5	5.0	3.5	49.2	4.0	2.6
堆 肥 区	50.3	3.5	2.0	65.9	5.5	3.0
イネわら 400kg区	54.7	7.0	4.0	65.4	7.5	3.5
秋鋤込 600kg区	60.8	6.0	3.2	70.9	9.0	3.4

また、稲体窒素含有率および吸収量を 3 要素区および窒素欠除区についてみると、イネわら施用量の増加にともなって、N 含有率および吸収量とも高まる傾向にあり、その程度も窒素欠除区において顕著で、とくに多量 (10 a 当たり 600 kg) 施用土壌の窒素吸収量は、無施用土壌に比べておおよそ 4 倍もの高い値を示した。

第 13 表 稲体 N 含有率および吸収量 (昭和 44 年)

項 目	3 F			- N		
	N含有率 (%)	N 吸 収 (g/pot)	比率 (%)	N含有率 (%)	N 吸 収 (g/pot)	比率 (%)
跡地土壌						
無 施 用 区	3.81	114	100	2.54	51	100
堆 肥 区	3.78	120	105	3.10	68	133
イネわら 400kg区	4.24	140	123	3.48	108	212
秋鋤込 600kg区	4.43	257	225	4.26	192	376

以上の結果は、前述の土壌分析結果の内容を的確に物語っており、イネわら施用による土壌窒素肥沃度向上の面を実際に裏付けたものと考えられる。

IV 考察および論議

イネわら連用が、水稻の収量性に及ぼす影響については、暖地と寒地では著しい差があり、志賀¹⁵⁾はイネわら施用にともなう還元障害は、一般的には生育期間が短く、出来遅れしやすい寒地で大き

く現われるのに対し、障害があっても分解が早く完了し、後期回復が可能な暖地では、その程度も比較的軽く、実用的には堆肥と同様に扱う場合が多いと報告しているが、本試験結果では、寒地においても、乾田タイプの土壌では10a当り400kg程度の施用量では還元障害もみられず、収量的にも堆肥に匹敵する安定した効果が認められた。しかし、湿田タイプの強グライ土壌では渡辺らの報告によればその障害程度の大きいことが推定され、収量面での効果は期待できないように思われる。

また、湛水期間中の土壌養分の動向についてみると、イネわら施用により $\text{NH}_4\text{-N}$ 生成能の著しい増加がみられた。仲谷ら¹³⁾によると、九州のような暖地ではイネわら施用により、湛水後約1か月間ぐらひは土壌窒素の固定が活発で、多量(10a当たり1,500kg)施用の場合には水稻の窒素飢餓を誘発し、生育量の低下を招来するが、最高分けつ期以降になると、イネわら多量施用の場合でも土壌窒素の固定よりも無機化が優先し、水稻の生育量もおう盛になると報じているが、北海道のように移植時の冷涼な気象条件下では、生育初期における土壌窒素の固定も暖地に比べると少なく、時期的にも若干遅れるようであり、乾田タイプの土壌では、10a当り600kg程度の秋施用では、それほど問題にならないように思われる。

還元発達ピーク時の7月下旬に、本村法により2価鉄の存在形態を検討したところ、イネわら施用により置換性および活性2価鉄の著しい増加が認められたが、本村¹⁰⁾によると、2価鉄の存在形態は土壌の粘土鉱物組成により異なり、いずれの土壌においても、還元によって生成増加する2価鉄の存在形態は活性2価鉄がもっとも多いと報告しており、さらに田中¹⁸⁾は、2価鉄の存在量が40ppm以下では刺激効果があるが、100ppmを越えると逆に生長阻害の作用に転じると報告している。したがって、黄褐色土壌(粘土鉱物はアロフェンが主体)においても、イネわらの多量施用にともなう生じる還元障害の1つとして、置換性および活性2価鉄の増加が起因していると思われるが、中干しにより排除できることを確認し得た。

イネわら連用によって、易分解性有機物が増加するにもかかわらず、全窒素および全炭素含量に変化がみられず、炭素含量のようにむしろ減少の傾向がみられるのは、Priming action(下塗り作用)によるものと思われる。

すなわち、徳永¹⁹⁾によると、D.S. JENKINSON⁴⁾の論文を引用し、新たに加えられた有機物の分解作用で、土壌中にもともとあった有機物の分解が促進される作用を「下塗り作用」と報じている。これは畑土壌を対象に行なった研究報告であるが、水田土壌中においても、同様な現象が惹起されてるものと想定される。

イネわら連用土壌の有機態窒素の分画、CECに及ぼす腐植の寄与割合および耐水性粒団の分布割合が、黄褐色土壌と強グライ土壌では全く逆な関係にあるのは、土壌の母材(おもに粘土鉱物組成)、粘土含量および透水性に起因しているものと思われるので、今後の研究に待ちたい。

堆肥連用にとまなう腐植酸の腐植化度の低下については、すでに川口ら⁵⁾が報告しているが、イネわらを施用した場合そのような傾向がみられないのは堆肥とイネわらの分解過程、すなわち腐植化作用に本質的な差異があるものと思われる。

土壌の物理的分画法による粒団の化学性については、川口⁸⁾、和田ら^{20,21)}の報告があるが、2.0~0.5mmの粒団群において窒素肥沃度がもっとも高い傾向を示したことは、川口らの結果とほぼ一致しており、これは有機物が粒団生成に関与していることを示唆している。

G. W. COOKE¹⁾は畑土壌における100年以上の有機物連用試験結果にもとづき、つぎのような結論を導いている。① 有機物の特殊な効果はみられない、② 有機物は栄養素、とくに窒素や加里を供給するが、必ずしも化学肥料施与の場合より増収しない、③ 土壌の物理性には変化がみられたが、この変化を直ちに作物の増収と結びつけることはできない、と有機物施用の悲観的な結論を導いているが、水田土壌における有機物施用の意義については、その研究の歴史も浅く、詳細な結論を導くまでには至っておらず、とくに粗大有機物施用の意義については、現在作物の養分吸収ある

いは土壌の物理性改善の面から検討されつつある。一方、田中¹⁷⁾はイネわらの利用を積極的効果としてではなく、むしろ収獲残さ物の処理として取り上げることの妥当性を提言しているが、このことも研究を進めるうえに重要なことと思われる。

また、水田土壌中におけるイネわらと、堆肥の分解にともなう腐植化過程および腐植の蓄積パターンについては、今後土壌の種類別に関連してさらに検討する必要があるだろう。

V 摘 要

寒地水田におけるイネわら連用の影響を、水稻の生育・収量ならびに土壌窒素肥沃度および土壌の物理性の面から検討した結果を要約するとつぎのとおりである。

1) 寒地水田にイネわらを施用する場合、乾田タイプの土壌では10a当り400kg・秋施用が生育・収量面よりみてもっとも安定的と思われる。

2) イネわら施用により、土壌中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量および生成能が著しく高まり、その程度は秋施用に比べ春施用において、かつ、施用量の増加にともなって著しかった。

3) また、イネわら施用による土壌還元化の進行にともなって、土壌中可給態磷酸および置換性、活性2価鉄の著しい増加がみられた。しかし、それらの還元物質の障害性は、中干し操作の併用により排除できるものと思われる。

4) イネわら連用跡地土壌で、易分解性有機態窒素の増加および土壌緩衝能の増大がみられる反面、置換性塩基含量(とくに置換性石灰)の溶脱が促進された。

5) 黄褐色土壌ではイネわら施用により2.0mm以上の耐水性粒団分布割合が高まり、かつ、土壌の容気度の増加および容積比重の低下がみられ、その結果土壌が著しく膨軟化した。

一方、強グライ土壌においては、イネわら施用により耐水性粒団分布割合の均一化、すなわち、土壌の凝集力が緩和されて土塊が均一化される傾向がうかがわれた。

引用文献

- 1) COOKE, G. W., 1967; The control of soil fertility.
- 2) 北海道立農業試験場, 1971; 水稻に対する素わら施用の影響に関する試験成績書.
- 3) 本田親史, 1964; 全窒素定量法, ペドロジスト, 8: 1, 57-59.
- 4) JENKINSON, D.S., 1967; The priming action, The use of isotopes in soil organic matter studies, 199-280.
- 5) 川口菊雄, 坂上 朗, 橋本重久, 1968; 水田土壌中における腐植の形態ならびに動態に関する研究 (第1報), 土肥誌, 39: 8, 363-369.
- 6) ———, ———, 1969; 同上 (第2報), 土肥誌, 40: 6, 221-227.
- 7) 川口桂三郎, 喜田大三, 1956-a; 水田土壌の耐水性粒団の分析法, 土肥誌, 27: 7, 262.
- 8) ———, ———, 1956-b; 水田土壌の耐水性粒団の組成, 土肥誌, 27: 9, 142.
- 9) 京大農芸化学教室, 1957; 農芸化学実験書 (第2巻), 110.
- 10) 本村 悟, 1969; 水田土壌中における2価鉄の行動, とその役割について, 農技研報告, B-21, 1-114.
- 11) 前田 要ほか, 1969; 寒地水田におけるイネわらの連用, 土肥要旨集, 15, 91.
- 12) ———, 南 松雄, 1970; イネわら連用にともなう土壌Nの形態について, 土肥学会北海道支部講演要旨集, 14.
- 13) 仲谷紀男, 鬼鞍 豊, 1970; 稲わら施用水田における $\text{NH}_3\text{-N}$ の生成, 土肥要旨集, 16, 96.
- 14) 大羽 裕, 1964; ペドロジスト, 8: 2, 38-46.
- 15) 志賀一一, 1960; 水田土壌の改良と地力増強, 北海道農業と土壌肥料, 269.
- 16) STEWART, B. A., L. K. PORTER, and D. D. JOHNSON, 1963; Immobilization and Mineralization of Nitrogen in Several Organic Fractions of Soil, Soil Sci: Soc. Am. Proc., 27, 302.
- 17) 田中 明, 1971; 粗大有機物と肥効, 農業北海道, 23: 2, 52-55.
- 18) ———, 1969; 酸化還元性の障害, 農及園, 44: 8, 1226-1227.
- 19) 徳永美治, 1971; 有機物施用とその意義, 農及園, 46: 1, 129.
- 20) 和田秀徳, 金沢普二郎, 1970; 土壌有機物の物理的分画法 (第1報), 土肥誌, 4: 7, 273-280.

- 21) ———, ———, 高井康雄, 1970; 同上 (第2
報), 土肥誌, 41: 10, 395-400.
22) 渡辺公吉ほか, 1967; 水稲に対する稲わらの施用効
果試験, 土壤肥料に関する試験成績書, 32-48.

Summary

The authors studied the effect of the successive application of rice straw for paddy field in Hokkaido, on the growth and grain yield of rice, the soil nitrogen fertility and the soil physical properties.

The results are summarized as follows;

- 1) The most effective season for application of straw for the productivity of paddy soil was autumn in well-drained paddy field, and the amount straw applied was about 400 kg per 10 are.
- 2) The content of $\text{NH}_4\text{-N}$ in the soil and the amounts of reductive substance produced in the flooded paddy field increased with the successive application of rice straw, and its tendency was more remarkable in the spring.
- 3) With the development of soil reduction,

caused by application of rice straw, the available phosphate, the exchangeable and active ferrous irons increased remarkably. But these reductive substances were enclouded by mid-summer drainage.

4) Moreover, the successive application of rice straw for paddy field, increased the amounts of readily decomposed organic nitrogen in the soil, and also improved the soil buffer activity. On the other hand, it promoted leaching losses of exchangeable base, especially CaO .

5) In the Yellowish Brown soil, the proportion of water stable aggregation above 2.0 mm by the successive application of straw increased, and also the air ratio in three phase volume of soil. As a result, the physical conditions were improved very slightly. On the other hand, in Strong Gley soil, the proportions of water stable aggregation were made uniform. Therefore, it seemed that the soil cohesion was improved to some extent.